

# Method for forming cavities in a semiconductor substrate by implanting atoms

Publication number: FR2774510

Publication date: 1999-08-06

Inventor: AUBERTON HERVE ANDRE JACQUES

Applicant: SOITEC SILICON ON INSULATOR (FR)

Classification:

- International: H05B33/02; H01L21/02; H01L21/265; H01L21/762;  
H01L27/12; H01L33/00; H05B33/02; H01L21/02;  
H01L21/70; H01L27/12; H01L33/00; (IPC1-7):  
H01L21/265; H05B33/10

- european: H01L21/265A; H01L21/762D8; H01L21/762D8B

Application number: FR19980001172 19980202

Priority number(s): FR19980001172 19980202

Also published as:



WO9939378 (A1)

EP1058946 (A1)

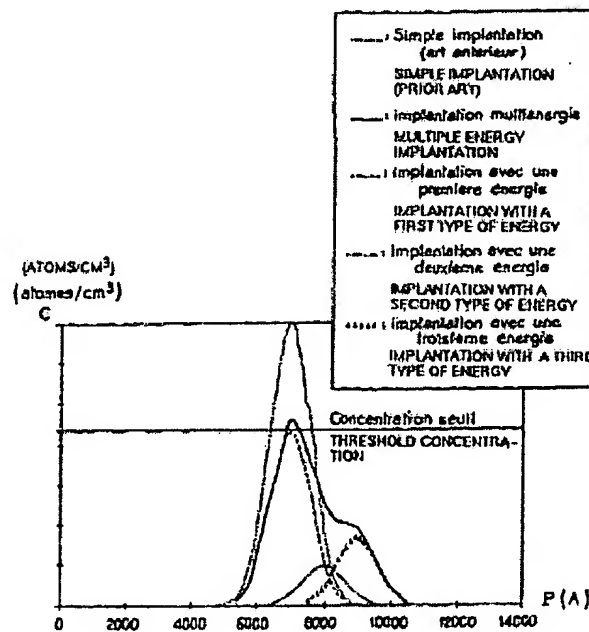
US6429104 (B1)

EP1058946 (A0)

Report a data error here

## Abstract of FR2774510

The invention concerns a method for treating substrates, in particular semiconductors, by implanting atoms so as to produce a substrate of cavities at a controlled depth, characterised in that it comprises steps which consists in: implanting atoms in the substrate at a first depth, to obtain a first concentration of atoms at said first depth; implanting atoms in the substrate at a second depth, different from the first, to obtain at said second depth, a second concentration of atoms, lower than the first; carrying out on the substrate a treatment for causing at least part of the atoms implanted in said second depth to migrate towards the first depth so as to create the cavities at the first depth preferably.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

BEST AVAILABLE COPY

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

①1 N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

2 774 510

②1 N° d'enregistrement national : 98 01172

⑤1 Int Cl<sup>6</sup> : H 01 L 21/265, H 05 B 33/10

⑫

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 02.02.98.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 06.08.99 Bulletin 99/31.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du  
présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : S.O.I.TEC SILICON ON INSULATOR  
TECHNOLOGIES Societe anonyme — FR.

⑦2 Inventeur(s) : AUBERTON HERVE ANDRE JAC-  
QUES.

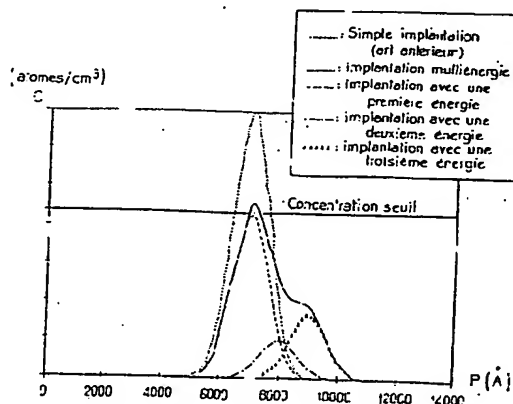
⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : REGIMBEAU.

⑤4 PROCÉDE DE TRAITEMENT DE SUBSTRATS, NOTAMMENT SEMI-CONDUCTEURS.

⑤7 L'invention concerne un procédé de traitement de  
substrats, notamment semi-conducteurs, par implantation  
d'atomes, dans le but de créer dans un substrat des cavités  
à une profondeur contrôlée, caractérisé en ce qu'il com-  
prend les étapes consistant à :

- planter des atomes dans le substrat à une première  
profondeur, pour obtenir une première concentration d'ato-  
mes à cette première profondeur;
- planter des atomes dans le substrat à une deuxième  
profondeur différente de la première, pour obtenir à cette  
deuxième profondeur, une deuxième concentration d'ato-  
mes, inférieure à la première;
- effectuer sur le substrat, un traitement apte à faire mi-  
grer vers la première profondeur, au moins une partie des  
atomes implantés à la deuxième profondeur, de manière à  
générer préférentiellement les cavités à la première profon-  
deur.



FR 2 774 510 - A1



La présente invention concerne le domaine des substrats, notamment pour composants électroniques ou optiques. Plus précisément, elle concerne un procédé pour préparer des substrats, notamment semi-conducteurs, qui seront utilisés pour réaliser ces composants, ou même  
5 d'un procédé contribuant à la réalisation de ces composants eux-mêmes sur un substrat.

On connaît déjà, par le document US 5 374 564 de M. Bruel, un procédé de fabrication de films minces de matériau semi-conducteur consistant à soumettre une plaquette de matériau semi-conducteur,

10 - à une étape de bombardement d'une face du substrat avec des ions, afin d'implanter ces ions en concentration suffisante pour créer une couche de microcavités,

- à une étape de mise en contact intime de cette face du substrat avec un raidisseur, et

15 - à une étape de traitement thermique pour générer un clivage du substrat au niveau de la couche de microcavités.

Ce procédé est par exemple utilisé pour la réalisation d'un film mince de silicium sur isolant, le film mince étant constitué de la partie du substrat restée sur le raidisseur après clivage.

20 Avec ce type de procédé, la zone où s'effectue l'implantation est perturbée, ce qui conditionne l'homogénéité du film mince et sa rugosité au niveau des surfaces situées de part et d'autre de la surface de clivage. Il est donc ensuite nécessaire de réaliser des traitements pour éliminer les défauts, les rugosités, etc.. Ces traitements consistent, par exemple, à polir  
25 les surfaces et/ou guérir la structure cristalline par recuit. Or, plus les zones perturbées sont étendues en profondeur, plus ces traitements sont longs et plus l'homogénéité d'épaisseur du film mince et du substrat restant après clivage, en est affectée.

D'autre part, il est connu que l'on peut utiliser les micropores du  
30 silicium poreux pour réaliser des composants électroluminescents ou photoluminescents. Or, ces micropores obtenus par des moyens électrochimiques présentent une étendue et une taille importantes qui

peuvent limiter la qualité des phénomènes luminescents que l'on cherche à exploiter. Il serait donc avantageux de disposer de substrats semi-conducteurs, ayant des cavités dont les dimensions sont mieux contrôlées et s'étendent sur une profondeur mieux localisée, afin de réaliser des composants luminescents présentant de meilleures performances.

Le but de la présente invention est de proposer un procédé permettant de mieux contrôler la localisation, la formation et la croissance de cavités.

Ce but est atteint grâce à un procédé de traitement de substrats, notamment semi-conducteurs, par implantation d'atomes, dans le but de créer dans un substrat, des cavités à une profondeur contrôlée, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes consistant à:

- implanter des atomes dans le substrat à une première profondeur, pour obtenir une première concentration d'atomes à cette première profondeur ;

- implanter des atomes dans le substrat à une deuxième profondeur différente de la première, pour obtenir à cette deuxième profondeur, une deuxième concentration d'atomes, inférieure à la première ;

- effectuer sur le substrat, un traitement apte à faire migrer vers la première profondeur, au moins une partie des atomes implantés à la deuxième profondeur, de manière à générer préférentiellement les cavités à la première profondeur.

Lorsque l'on fait pénétrer des atomes dans un substrat à partir d'une surface de ce substrat, par exemple par implantation, ils se distribuent dans celui-ci. La concentration de ces atomes dans le substrat a un profil de distribution en fonction de la profondeur qui forme un pic avec un maximum à une certaine profondeur. Ce pic a une largeur, pour une concentration donnée, qui est d'autant plus importante que le nombre d'atomes ayant pénétré dans le substrat est important. La présence de ces atomes dans le substrat perturbe celui-ci et l'étendue de la zone perturbée est d'autant plus grande que le pic, à une concentration donnée, est large. Or, certains effets particuliers, comme une fragilisation du substrat suffisante pour pouvoir le

cliver, ou la formation de microcavités pour obtenir un effet luminescent, etc., nécessitent une concentration en atomes implantés importante dans la zone où l'on souhaite obtenir l'effet recherché. C'est dans ce type de cas que le procédé selon l'invention est particulièrement intéressant, car il

5 permet de limiter l'étendue en profondeur de la zone perturbée, tout en atteignant la concentration nécessaire à l'obtention des effets désirés.

Le procédé selon l'invention consiste lors d'une étape, à implanter des atomes dans le substrat pour obtenir une première concentration d'atomes formant un premier pic avec une première largeur et un premier

10 maximum situé à une première profondeur. En limitant le nombre d'atomes implantés à cette étape, on peut réduire la largeur, pour une concentration donnée, du profil de concentration. Ceci se traduit par une réduction de l'étendue en profondeur de la zone la plus perturbée par les atomes implantés.

15 Lors d'une autre étape du procédé selon l'invention, des atomes sont implantés dans le substrat à une deuxième profondeur différente de la première, pour obtenir à cette deuxième profondeur, une deuxième concentration d'atomes, inférieure à la première. On constitue ainsi un réservoir d'atomes implantés, de perturbations structurelles telles que des

20 défauts ou des lacunes générés par les atomes implantés, d'espèces chimiques liées à des atomes implantés, etc., que l'on peut ensuite faire migrer ou reporter dans le voisinage de la première profondeur. Le nombre d'atomes implantés dans ce réservoir est adapté pour que la somme des atomes implantés à la première et à la deuxième profondeurs soit suffisant

25 pour réaliser des cavités à la première profondeur, après un traitement apte à faire migrer, vers la première profondeur, au moins une partie des atomes implantés à la deuxième. Il est entendu que ce traitement peut aussi reporter, de la deuxième profondeur vers la première profondeur, des perturbations structurelles, telles que des défauts ou des lacunes générées

30 par les atomes implantés, et des espèces chimiques liées aux atomes implantés (V-H<sub>4</sub>). Nous utiliserons par la suite, l'expression générique « espèces liées aux atomes implantés », pour désigner l'ensemble de ces

perturbations et de ces espèces chimiques liées aux atomes implantés.

Avec le procédé selon l'invention, on peut donc réduire la largeur du pic réalisé à la première profondeur, en implantant dans le substrat moins d'atomes lors de l'étape d'implantation correspondante, mais obtenir le  
5 nombre d'atomes nécessaires à l'obtention de l'effet souhaité, dans le voisinage de la première profondeur par l'apport des atomes implantés, et des diverses espèces liées aux atomes implantés, ayant migré à partir du réservoir.

D'autres aspects, buts et avantages de la présente invention  
10 apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui suit.

L'invention sera aussi mieux comprise avec l'aide des références aux dessins sur lesquels :

- la figure 1 représente schématiquement les étapes d'un exemple de mise en œuvre, non limitatif, du procédé selon l'invention ;
- 15 - la figure 2 représente un profil de dispersion de la concentration C en ions implantés en fonction de la profondeur P dans le substrat, ce profil correspondant à un mode de mise en œuvre d'un procédé de la technique antérieure ;
- la figure 3 représente schématiquement les perturbations induites  
20 dans le substrat, par la mise en œuvre d'un procédé de la technique antérieure ;
- la figure 4 représente, sur un même diagramme, le profil déjà représenté à la figure 2 et un profil de dispersion de la concentration C en atomes implantés en fonction de la profondeur P, ce profil correspondant à  
25 un mode de mise en œuvre conforme à l'invention ;
- la figure 5 représente schématiquement les perturbations induites dans le substrat, par la mise en œuvre d'un procédé conforme à la présente invention ; et
- la figure 6 représente, sur un même diagramme, un autre profil de  
30 dispersion de la concentration C en atomes implantés en fonction de la profondeur P, ce profil correspondant à un mode de mise en œuvre conforme à l'invention.

Selon un mode de mise en œuvre particulier, mais non limitatif, du procédé selon l'invention, représenté sur la figure 1, celui-ci est utilisé pour la préparation d'un film mince 5, notamment de matériau semi-conducteur.

Plus précisément encore, le mode de mise en œuvre du procédé selon l'invention, détaillé ci-dessous, concerne la réalisation de microcavités dans des substrats 1, pour obtenir par exemple des films minces 5 de silicium sur isolant.

Par la suite, nous désignerons par microcavités des défauts ou des cavités dans le substrat 1, créés par un ou plusieurs atomes implantés. La forme et la taille des microcavités peuvent être très variables. La forme de ces microcavités peut être globalement sphérique. On parle alors de microbulles. Mais plus généralement, les microcavités ont une forme de lentille, de cylindre aplati ou une forme plus irrégulière. Leur taille est de l'ordre du nanomètre à quelques centaines de nanomètres. Ces microcavités peuvent contenir une phase gazeuse libre et /ou des atomes du matériau formant les parois des microcavités. Ces microcavités sont généralement appelées, dans la terminologie anglo-saxonne, « platelets », « microblisters » ou « bubbles ».

Par la suite, nous désignerons par le terme « atome », l'atome aussi bien sous sa forme ionisée que sous sa forme neutre, voire sous une forme moléculaire.

Un substrat 1 de matériau semi-conducteur est soumis à une étape d'implantation d'atomes pour créer une couche de microcavités 2 et une couche réservoir (figure 1a) ; éventuellement à une étape de mise en contact intime d'une face 3 du substrat 1 avec un raidisseur 10 (figure 1b) ; et une étape de traitement thermique ou recuit qui permet la diffusion des atomes, et des diverse espèces liées aux atomes implantés, de la couche réservoir vers la couche de microcavités pour faire croître les microcavités (figure 1c). Cette croissance des microcavités induit des contraintes et la coalescence de certaines d'entre elles. Ce qui aboutit au clivage du substrat 1 au niveau de la couche de microcavités 2.

Comme représenté sur la figure 1, le substrat 1 de matériau semi-

conducteur a, par exemple, la forme d'une plaquette, ayant deux faces principales 3, 4 parallèles, dont les dimensions sont très largement supérieures à la distance qui sépare ces deux faces 3, 4, c'est à dire à l'épaisseur de la plaquette. Cette plaquette a typiquement un diamètre de 5 200 mm (8 pouces) et une épaisseur de 725  $\mu\text{m}$ . Le matériau semi-conducteur est par exemple du silicium monocristallin, dont les faces 3 et 4 sont parallèles aux plans cristallographiques (100).

Le film mince 5 est obtenu à partir du substrat 1. Le film mince 5 est constitué de la matière comprise entre l'une 3 des deux faces 3, 4 et la 10 couche de microcavités 2, au niveau de laquelle le clivage va être provoqué.

L'étape d'implantation des atomes de la couche de microcavités 2 et de la couche réservoir est réalisée préférentiellement en procédant à un bombardement d'ions sur la face 3 du substrat 1 (figure 1a), par exemple 15 grâce à un implanteur ionique. Dans ce cas, le choix de la tension d'accélération des ions permet de contrôler leur profondeur d'implantation. Les ions accélérés pénètrent dans le substrat 1 où ils subissent des chocs avec les atomes de silicium, ainsi qu'un freinage électronique. Ils interagissent donc avec les atomes de silicium et éventuellement créent des 20 liaisons chimiques avec ceux-ci (des liaisons Si-H par exemple, lorsque l'atome implanté est de l'hydrogène).

Les deux modes d'interaction, c'est à dire les chocs des atomes implantés avec les atomes de silicium et le freinage électronique, induisent une distribution de la concentration en atomes implantés en fonction de la 25 profondeur d'implantation. Le profil de distribution de la concentration des atomes implantés en fonction de la profondeur d'implantation présente un maximum (figures 2, 4 et 6). Ce profil est grossièrement de type gaussien, mais il répond à des lois statistiques plus complexes. Ce profil présente une largeur, pour une concentration donnée, d'autant plus grande que la dose 30 d'atomes bombardant la surface de la face 3 est importante. Cette dose détermine la concentration en atomes implantés dans le substrat 1 à une profondeur donnée. A titre d'exemple, lorsque la face 3 d'une plaquette de



silicium monocristallin, correspondant à un plan cristallographique (100), est soumise à un bombardement d'ions  $H^+$  accélérés sous une tension de 150 kV, les atomes implantés se distribuent avec un maximum de concentration qui est situé à environ  $1,3 \mu m$  de la face 3.

- 5 Il existe une concentration seuil en atomes implantés au delà de laquelle des microcavités, ou des précurseurs à la croissance de ces microcavités, sont formés avec une taille et en nombre suffisants, pour que la zone où cette concentration seuil est atteinte soit une zone privilégiée de croissance et de coalescence des microcavités, lorsqu'est effectué un  
10 traitement, préférentiellement thermique, apte à faire migrer des atomes implantés et diverses espèces liées aux atomes implantés, au voisinage de cette zone.

Les zones où cette concentration seuil est atteinte ou dépassée, sont aussi celles où interviendront les perturbations les plus importantes et le  
15 clivage. C'est l'étendue en profondeur de ces zones qu'il est avantageux de minimiser.

Dans le mode de mise en œuvre de l'art antérieur, le bombardement était prolongé en conservant la même tension accélératrice au delà de la concentration seuil, jusqu'à obtenir la concentration en atomes implantés,  
20 nécessaire au clivage. De cette manière, on obtenait un seul pic dans le profil de distribution de la concentration en atomes implantés en fonction de la profondeur. La largeur de ce pic unique et son maximum étaient relativement importants (figure 2). La zone perturbée, de largeur  $\Delta P$ , qui en résultait était en conséquence aussi relativement étendue en profondeur  
25 (figure 3). Il s'ensuivait aussi une rugosité importante au niveau des surfaces de part et d'autre du plan de clivage, ainsi que des défauts d'homogénéité du matériau sur une profondeur substantielle à partir de l'interface de clivage.

Dans le mode de mise en œuvre conforme à la présente invention,  
30 on procède à une implantation d'atomes avec une première énergie. On obtient un premier pic de distribution de la concentration en fonction de la profondeur d'implantation. Ce premier pic présente un maximum, à la

première profondeur, qui correspond à une première concentration maximale. Le bombardement à cette première énergie est arrêté de préférence avant que la concentration atomique seuil n'ait été atteinte. Autrement dit, après l'arrêt du bombardement à cette première énergie, les  
5 atomes sont encore en concentration insuffisante dans la région du substrat 1, voisine du maximum du pic de concentration, pour générer des microcavités en taille et en nombre suffisants pour obtenir un clivage dans des conditions souhaitées.

Dans le mode de mise en oeuvre de l'invention décrit ici, on réalise  
10 ensuite une deuxième et de préférence une troisième implantations, respectivement à une deuxième et une troisième énergies, différentes entre elles et différentes de la première énergie. Un exemple de profil de distribution de la concentration  $C$  en atomes implantés, en fonction de la profondeur  $P$  dans le substrat 1, à partir de la surface 3, obtenue pour ce  
15 mode de mise en oeuvre de l'invention avec trois énergies d'implantation est représenté sur la figure 4. Pour comparaison avec l'art antérieur, est aussi représenté sur la figure 4, le profil de distribution de la figure 2, obtenu avec une implantation avec une seule énergie. Sur cette figure est aussi tracé un trait parallèle à l'axe des abscisses, au niveau de la concentration seuil en  
20 atomes implantés.

Conformément à l'invention, les atomes bombardés sur la face 3 du substrat 1 avec les deuxième et troisième énergies, sont implantés avec des concentrations maximales inférieures à la concentration maximale en atomes implantés à la première énergie. Après l'implantation aux deuxième  
25 et troisième énergies, la concentration atomique totale maximale est supérieure à la concentration seuil.

A titre d'exemple, avec des ions  $H^+$ , implantés dans du silicium orienté (100), avec une énergie comprise entre 60 et 80 keV, la concentration seuil est dépassée dans une zone s'étendant en profondeur  
30 sur une distance inférieure à 600 Å, alors qu'avec le procédé selon l'art antérieur, cette distance était supérieure à 800 Å.

Avantageusement, pour déplacer la zone perturbée vers la partie du

substrat 1 qui sera éliminée après clivage, les deuxième et troisième énergies sont supérieures à la première énergie.

Les microcavités les plus stables sont celles présentes dans la zone où les atomes implantés sont en plus forte concentration, c'est à dire la zone où ils ont été implantés avec la première énergie. Cette zone est appelée zone de génération de cavités. Des défauts, et des microcavités situées dans les régions du substrat 1 voisines de la zone de génération de cavités, migrent vers les microcavités de cette zone, lors du traitement thermique. La zone à partir de laquelle les atomes implantés, et les diverses espèces liées aux atomes implantés, migrent vers la zone de génération de cavités, est appelée réservoir. Ainsi, en adaptant le nombre d'atomes implantés à la deuxième et troisième énergies, pour qu'ils constituent un réservoir d'atomes suffisamment important, la croissance des microcavités peut s'effectuer jusqu'à leur coalescence et/ou jusqu'à ce que les contraintes induites par cette croissance puissent provoquer le clivage.

La figure 5 représente schématiquement la zone de génération de cavités et le réservoir au regard du profil de distribution de la concentration en atomes implantés.

Dans l'exemple de mise en œuvre du procédé selon l'invention illustré par la figure 4, le nombre d'atomes implantés à la première profondeur est supérieur au nombre d'atomes implantés aux deuxième et troisième profondeurs, et le nombre d'atomes implantés à la deuxième profondeur est inférieur au nombre d'atomes implantés à la troisième profondeur. Dans cet exemple, la dose totale d'atomes implantés avec les première, deuxième et troisième énergies est égale à celle utilisée dans le cas d'implantation à une seule énergie, de la technique antérieure.

Le procédé de préparation de films minces selon l'invention est optimisé en calibrant les concentrations en atomes implantés aux diverses énergies, pour que la concentration maximale en atomes implantés à l'une des énergies soit la plus proche possible de la concentration seuil avant traitement thermique, tout en implantant au total suffisamment d'atomes pour pouvoir faire croître et coalescer les microcavités et/ou générer les

contraintes nécessaires pour avoir clivage.

D'une manière générale, on cherche à obtenir un profil de distribution de la concentration en fonction de la profondeur, présentant un pic avec un épaulement sur son versant le plus profond. Le pic doit être intense et bien  
5 défini pour optimiser la localisation de la zone de formation des microcavités. L'épaulement doit être bien renflé pour constituer un réservoir suffisamment important en atomes implantés. Ce résultat peut être obtenu de nombreuses manières en réalisant une multi-implantation à deux, trois, quatre énergies différentes, ou plus encore, pour implanter des atomes à  
10 deux, trois, quatre profondeurs, ou plus.

Afin que les atomes implantés ne diffusent pas rapidement hors de la zone située à la profondeur souhaitée ou même hors du matériau semi-conducteur lui-même, la température du substrat 1, est contrôlée et maintenue préférentiellement entre 20°C et 450°C pendant l'étape  
15 d'implantation. Cependant, après l'étape d'implantation, pour faire migrer les atomes implantés et les diverses espèces liées aux atomes implantés, vers la première profondeur, la température de traitement thermique est avantageusement supérieure à 150°C. Ce traitement thermique doit permettre, en plus de la migration des atomes implantés, un réarrangement  
20 cristallin et la coalescence des microcavités, le tout avec une cinétique appropriée.

Avantageusement, les atomes implantés aux première et deuxième profondeurs, se situent dans deux plans parallèles l'un à l'autre, et au maximum espacés l'un de l'autre d'une distance qui est sensiblement  
25 inférieure à la distance séparant le plan de la première profondeur de la surface 3 du substrat 1 ou la surface la plus proche du plan de la première profondeur. En effet, lors du traitement thermique, il y a migration des atomes implantés et des diverses espèces liées aux atomes implantés, il est alors nécessaire que les atomes implantés, et les diverses espèces  
30 liées aux atomes implantés, aux deuxième et troisième profondeurs puissent atteindre la zone de génération de cavités sans qu'une quantité significative des atomes implantés à la première profondeur n'aient atteint la

surface 3 du substrat 1.

Pour de nombreuses applications, on cherche à obtenir un film mince 5 sur une grande surface, voire sur la totalité de la face 3 du substrat 1. Pour ce type d'application, un raidisseur 10 est nécessaire. Le rôle du  
5 raidisseur 10 est, entre autre, de limiter l'effet, sur le film mince 5, des contraintes engendrées par la formation et la croissance des microcavités. Le choix de la méthode de fabrication de ce raidisseur 10 et de sa nature est effectué en fonction de chaque application visée pour le film mince. Par exemple, si l'application visée est celle décrite ci-dessus, c'est à dire la  
10 réalisation d'un film mince 5 de silicium sur un isolant, le raidisseur 10 est avantageusement un nouveau substrat de silicium recouvert d'oxyde. C'est alors l'oxyde qui est mis en contact intime avec le substrat 1. Ce raidisseur 10 peut être déposé directement sur le substrat 1, à l'aide de techniques de dépôt telles que l'évaporation, la pulvérisation, le dépôt chimique en phase  
15 vapeur, assisté ou non par plasma ou par photons, dès lors que l'épaisseur est modérée, c'est à dire de l'ordre de quelques micromètres à quelques dizaines de micromètres. Le raidisseur 10 peut aussi être collé au substrat 1, soit par une substance adhérent à la fois au raidisseur 10 et au substrat 1, soit par traitement thermique et/ou électrostatique assorti éventuellement  
20 d'une pression appropriée pour favoriser les liaisons interatomiques entre le raidisseur 10 et le substrat 1.

L'amélioration principale apportée par le mode de mise en œuvre du procédé selon l'invention, décrit ci-dessus, par rapport à la technique antérieure, est de diminuer l'étendue en profondeur de la zone perturbée  
25 et/ou la rugosité sur le film mince 5.

Selon une variante du mode de mise en œuvre du procédé selon l'invention, décrit ci-dessus, la concentration maximale atteinte lors de l'implantation à la première énergie, est supérieure à la concentration seuil (figure 6). Dans ce cas, on obtient une largeur de la zone où la  
30 concentration est supérieure à la concentration seuil qui est plus large qu'avec le mode de mise en œuvre précédemment décrit, mais le processus de fabrication peut être accéléré par la diminution des temps de migration.

Pour certaines applications, on ne cherche pas nécessairement à réduire la largeur de la zone perturbée. Par exemple, pour réaliser des films très minces, on peut plutôt chercher à déplacer le barycentre du pic de concentration, vers la région du substrat 1 située du côté du plan de clivage

5 qui comprendra le film mince 5. A cette fin, on réalise une implantation avec une première énergie pour implanter des atomes avec une concentration maximale, éventuellement supérieure à la concentration seuil. Ceci localise le film mince 5 entre la face 3 et le plan où sont implantés ces atomes. Puis on effectue au moins une autre implantation avec une deuxième énergie

10 supérieure à la première énergie, mais de manière à ce que la concentration maximale reste inférieure à celle correspondant à la première énergie. De cette manière, les atomes implantés à l'énergie la plus élevée peuvent constituer un réservoir d'atomes implantés, et de diverses espèces liées aux atomes implantés, aptes à migrer vers la zone où la concentration

15 en atomes implantés est supérieure. Ce réservoir est situé de l'autre côté du film mince 5, par rapport à cette dernière zone. Après clivage, les régions du substrat 1 perturbées par la formation du réservoir ne font pas partie du film mince 5. En outre, du fait de la réalisation de ce réservoir, le nombre d'atomes implantés à la première énergie peut être inférieur à ce

20 qu'il devrait être pour une simple implantation. Donc, le pic correspondant à l'implantation à la première énergie peut être moins intense et moins large, ce qui localise mieux la zone où la concentration est supérieure à la concentration seuil, plus loin en profondeur. En déplaçant ainsi le début de cette zone, il est possible de réduire l'épaisseur des films minces 5 que l'on

25 peut réaliser.

L'invention prend aussi tout son intérêt lorsque l'on veut implanter à plus haute énergie, par exemple lorsque le film mince 5 est recouvert d'une couche d'oxyde épaisse. En effet, plus l'énergie est élevée, plus la dispersion est grande et plus le pic de distribution de la concentration en

30 fonction de la profondeur est large et, par conséquent, plus la zone perturbée est grande. L'invention, en permettant de limiter la largeur de la zone perturbée, permet de limiter les traitements destinés à ôter cette zone

et permet d'obtenir des films minces 5 plus homogènes en épaisseur.

Dans ce qui précède, les qualificatifs « premier », « deuxième » et « troisième » ne sont pas utilisés pour spécifier un quelconque ordre opératoire. Ainsi, les implantations effectuées avec les deuxième et 5 troisième énergies peuvent être réalisées avant celle effectuée à la première énergie.

Dans l'exemple de mise en œuvre du procédé selon l'invention décrit ci-dessus, une seule espèce d'atomes, l'hydrogène, est utilisé. Pour certaines applications, il est avantageux que les atomes implantés soient 10 des atomes de gaz rare. Avantageusement aussi, plusieurs espèces atomiques peuvent être utilisées pour un même traitement du substrat 1. Les autres espèces atomiques pouvant être utilisées sont par exemple, l'hélium, l'argon, le néon, le krypton ou le xénon. Mais on peut utiliser tout autre atome susceptible de créer des microcavités ou une zone de 15 fragilisation dans le matériau qui subit le traitement.

Chaque espèce atomique peut être accélérée à une énergie différente ou même plusieurs espèces atomiques peuvent être accélérées avec la même énergie.

De même, le procédé selon l'invention peut être mis en œuvre en 20 implantant des atomes par bombardement ionique, grâce à un implanteur ionique. Mais il est possible d'utiliser toute autre source d'atomes, pouvant les accélérer avec une énergie adaptée à la profondeur d'implantation souhaitée. On peut par exemple procéder à une immersion du substrat 1 dans un plasma en utilisant un champ électrique accélérateur au voisinage 25 du matériau à planter. On peut aussi envisager, sans s'éloigner de l'esprit de l'invention, de procéder à une implantation par diffusion des espèces atomiques à planter, dans le substrat 1. Dans ce cas, le profil de distribution de la concentration en fonction de la profondeur dans le substrat 1, n'est plus un pic de type gaussien, mais prend plutôt la forme d'une 30 distribution de Poisson. On appelle alors « profondeur d'implantation », le maximum de cette distribution.

Dans l'exemple de mise en œuvre du procédé selon l'invention,

décrit ci-dessus, le clivage est obtenu grâce aux contraintes imposées par la croissance des microcavités et la coalescence de celles-ci. Ces effets sont induits par la migration, provoquée par le traitement thermique, des atomes implantés, et des diverses espèces liées aux atomes implantés, aux  
5 deuxième et troisième énergies. Ce traitement thermique peut être combiné avec une contrainte mécanique apte à faciliter ou provoquer un clivage au niveau des microcavités. Cette contrainte mécanique est, par exemple, générée par des ultrasons. Cette variante de mise en œuvre du procédé selon l'invention, est particulièrement utile lorsque l'on se contente de  
10 fragiliser le substrat 1 au niveau de la zone de génération de cavités, sans nécessairement faire croître ces microcavités jusqu'à leur coalescence.

Dans l'exemple de mise en œuvre du procédé selon l'invention décrit ci-dessus, le matériau du substrat 1 est un semi-conducteur, et plus précisément du silicium monocristallin, poreux ou non. Mais le procédé  
15 selon l'invention est applicable à des substrats de tout autre matériau, semi-conducteur ou non (comme la silice par exemple), pris dans un état monocristallin, polycristallin, ou même amorphe. Ces différents états peuvent, par ailleurs, avoir été rendus poreux ou non.

Avantageusement aussi, le procédé selon l'invention peut être mis en  
20 œuvre sur un substrat 1 comprenant sur sa face 3, au moins un élément lui conférant une structure hétérogène par la nature du matériau de cet élément ou par les reliefs que cet élément génère sur cette face 3. Cette structure hétérogène est par exemple constituée d'un composant électronique ou d'une structure multicouche homogène ou hétérogène.

25 Dans l'exemple de mise en œuvre du procédé selon l'invention décrit ci-dessus, le matériau du raidisseur 10 est du silicium recouvert d'oxyde. Mais le procédé selon l'invention est applicable à des raidisseurs 10 de tout autre matériau, semi-conducteur ou non (comme la silice par exemple), pris dans un état monocristallin, polycristallin, ou même amorphe. Ces différents  
30 états peuvent, par ailleurs, avoir été rendus poreux ou non.

Avantageusement aussi, le procédé selon l'invention peut être mis en œuvre avec un raidisseur 10 comprenant sur sa face de mise en contact



avec le substrat 1, au moins un élément lui conférant une structure hétérogène par la nature du matériau de cet élément ou par les reliefs que cet élément génère sur cette face. Cette structure hétérogène est par exemple constituée d'un composant électronique ou d'une structure multicouche homogène ou hétérogène.

Le procédé selon l'invention est aussi applicable à des substrats 1 d'isolant, de supraconducteur, etc. D'une manière générale, il sera avantageusement utilisé avec les matériaux pour fabriquer des composants électroniques, optiques ou opto-électroniques.

### REVENDEICATIONS

1. Procédé de traitement de substrats, notamment semi-conducteurs, par implantation d'atomes, dans le but de créer dans un substrat (1) des  
5 cavités à une profondeur contrôlée, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes consistant à:

- planter des atomes dans le substrat (1) à une première profondeur, pour obtenir une première concentration d'atomes à cette première profondeur ;
- 10 - planter des atomes dans le substrat (1) à une deuxième profondeur différente de la première, pour obtenir à cette deuxième profondeur, une deuxième concentration d'atomes, inférieure à la première ;
- effectuer sur le substrat (1), un traitement apte à faire migrer vers la première profondeur, au moins une partie des atomes implantés à la  
15 deuxième profondeur, de manière à générer préférentiellement les cavités à la première profondeur.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé par le fait que le traitement apte à faire migrer au moins une partie des atomes implantés, est aussi apte à reporter, vers la première profondeur, des perturbations  
20 structurelles et des espèces chimiques liées aux atomes implantés, créées à la deuxième profondeur par les atomes implantés à cette deuxième profondeur.

3. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que le traitement apte à faire migrer au moins une partie des  
25 atomes implantés à la deuxième profondeur et à reporter, vers la première profondeur, des perturbations structurelles et des espèces chimiques liées aux atomes implantés, est un traitement thermique.

4. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que les cavités formées à la première profondeur constituent une  
30 zone de fragilisation, au niveau de laquelle peut être effectué un clivage du substrat (1).

5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé par le

fait qu'il est appliqué au traitement de substrats destinés à la réalisation de composants électroluminescents ou photoluminescents.

6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que les atomes implantés sont des atomes d'hydrogène ou de gaz rare.

7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que plusieurs espèces atomiques sont utilisées pour un même traitement du substrat (1).

8. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait qu'au moins une étape consistant à faire pénétrer des atomes dans le substrat (1) est réalisée par bombardement ionique.

9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé par le fait qu'au moins une des étapes d'implantation des atomes dans le substrat (1) est réalisée par immersion du substrat (1) dans un plasma.

10. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que les atomes sont respectivement implantés aux première et deuxième profondeurs, dans deux plans parallèles l'un à l'autre, et au maximum espacés l'un de l'autre d'une distance qui est sensiblement inférieure à la distance séparant le plan situé à la première profondeur de la surface (3) du substrat (1) la plus proche de celui-ci.

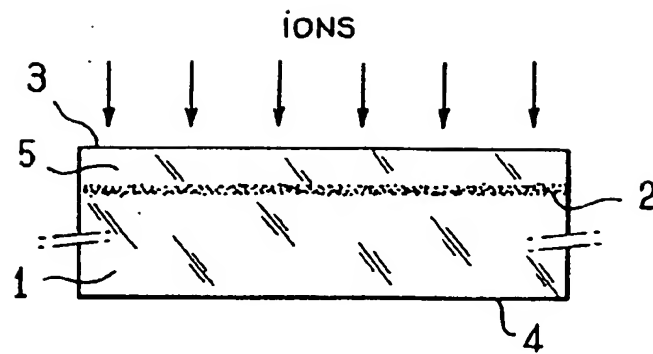
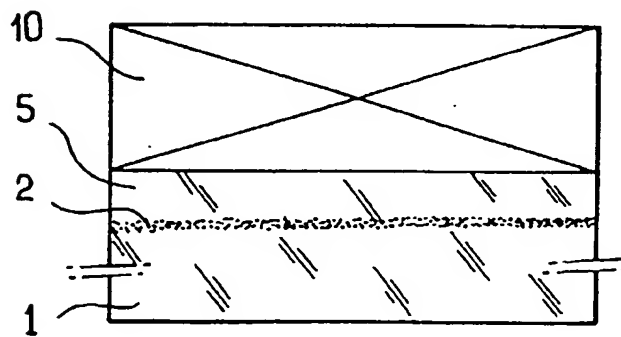
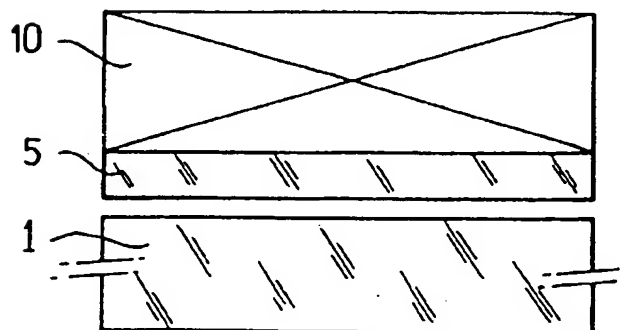
11. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé par le fait que l'on réalise une multi-implantation, pour implanter des atomes à plusieurs profondeurs différentes, de manière à obtenir un profil de distribution de la concentration présentant un pic avec un épaulement sur son versant le plus profond.

12. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que l'on réalise l'implantation des atomes à trois profondeurs différentes.

13. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le nombre d'atomes implantés à la première profondeur est supérieure au nombre d'atomes implantés aux deuxième et troisième profondeurs, et en ce que le nombre d'atomes implantés à la deuxième

profondeur est inférieur au nombre d'atomes implantés à la troisième profondeur.

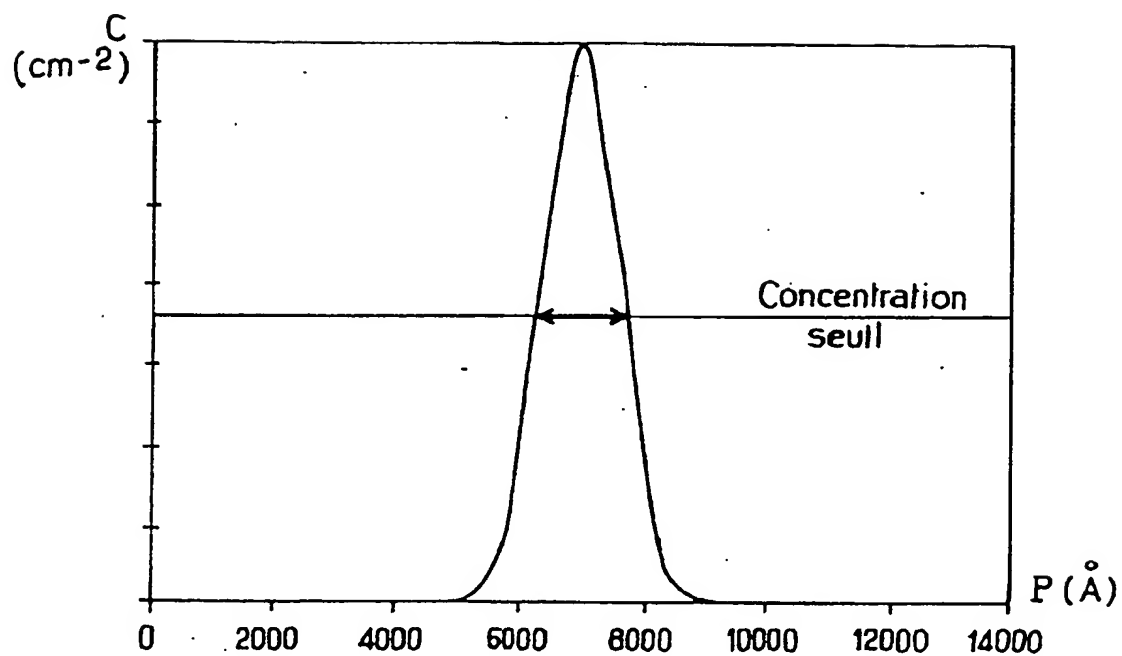
1 / 4

FIG. 1aFIG. 1bFIG. 1c

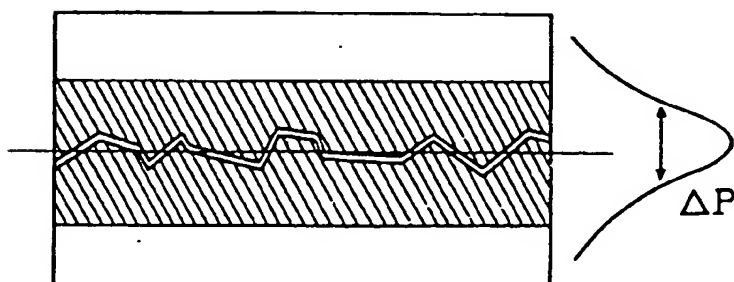
2 / 4

FIG. 2

ART ANTERIEUR

FIG. 3

ART ANTERIEUR



3 / 4

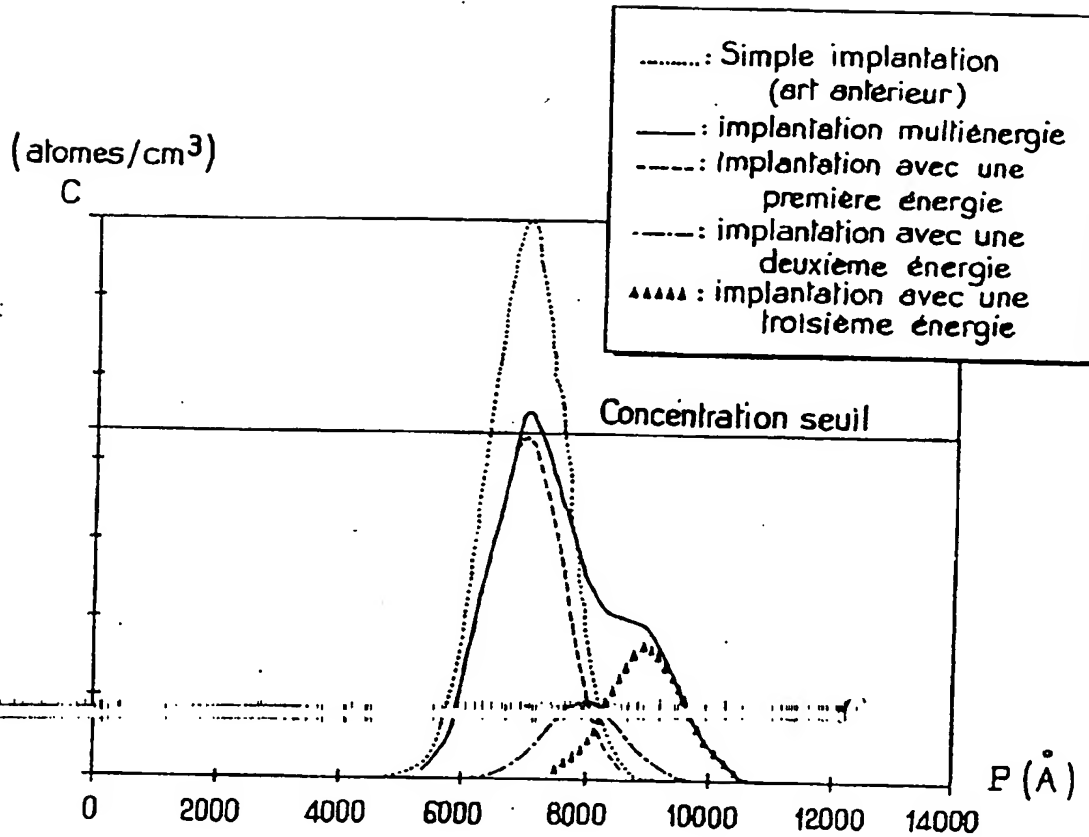


FIG. 4

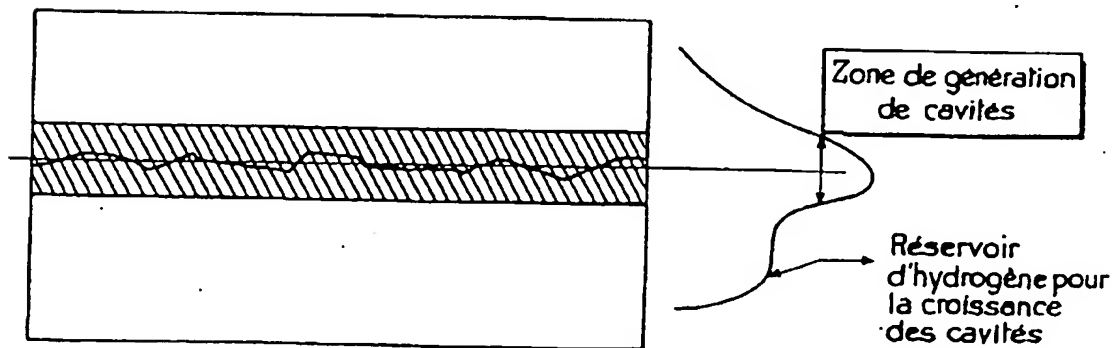
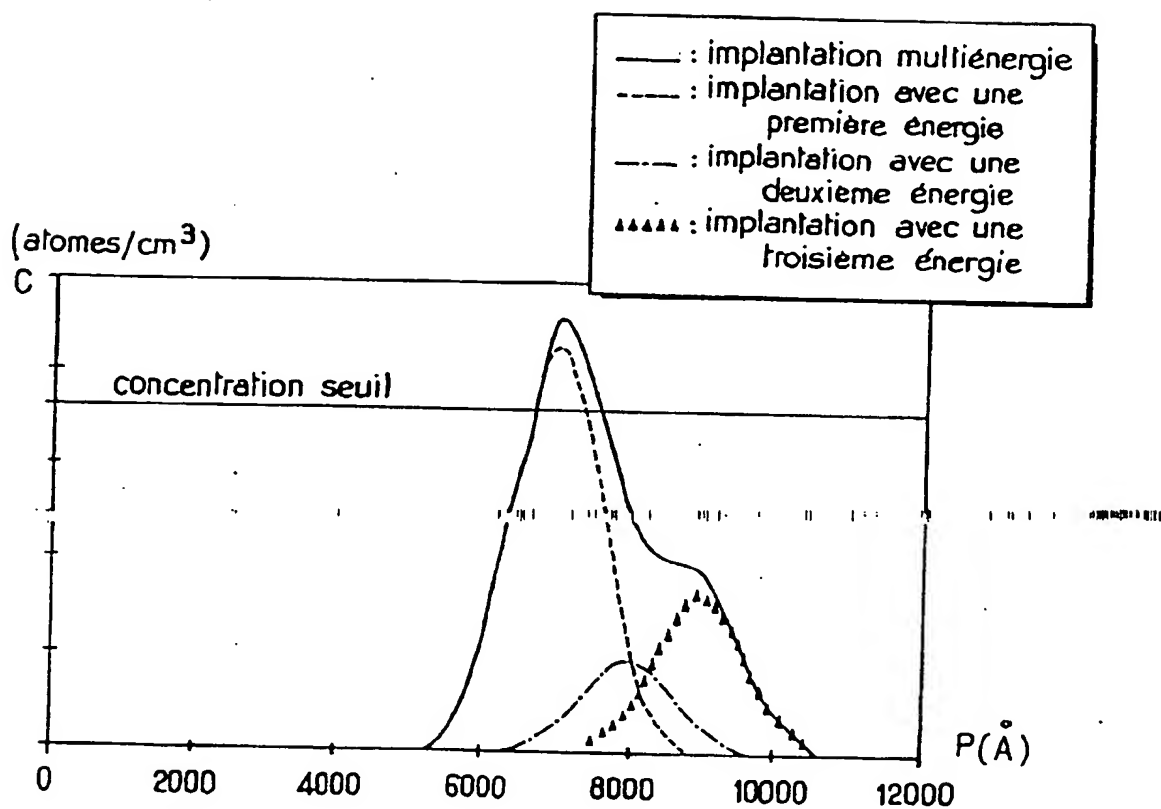


FIG. 5

4 / 4

FIG.6



INSTITUT NATIONAL  
de la  
PROPRIETE INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE  
PRELIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement  
national

FA 554768  
FR 9801172

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
X	EP 0 801 419 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE) 15 octobre 1997 * colonne 1, ligne 1 - ligne 14 * * colonne 2, ligne 5 - ligne 19 * * colonne 5, ligne 8 - ligne 11 * * colonne 5, ligne 33 - colonne 6, ligne 29 * * colonne 7, ligne 20 - colonne 8, ligne 32; figures 1-4 * * colonne 8, ligne 54 - colonne 9, ligne 22; revendications 1-4,6,9 *	1-4,6,8, 10-12
Y	---	5,7,9,13
Y	EP 0 703 609 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE) 27 mars 1996 * colonne 1, ligne 5 - ligne 14 * * colonne 6, ligne 19 - ligne 46 *	5
D,Y	US 5 374 564 A (BRUEL MICHEL) 20 décembre 1994 * colonne 2, ligne 15 - ligne 48 * * colonne 3, ligne 10 - ligne 46 * * colonne 4, ligne 39 - ligne 50 * * colonne 5, ligne 1 - colonne 6, ligne 12; figures 1-4 *	7
A	---	1-6,8,10
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 010, no. 034 (P-427), 8 février 1986 & JP 60 182090 A (FUJITSU KK), 17 septembre 1985 * abrégé *	9
	---	
	-/--	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur
30 octobre 1998		Klopfenstein, P
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons &amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>		

1  
EPO FORM 1503 03.82 (P04C13)

INSTITUT NATIONAL  
de la  
PROPRIETE INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE  
PRELIMINAIRE  
établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement  
national

FA 554768  
FR 9801172

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 010, no. 264 (P-495), 9 septembre 1986 -& JP 61 087296 A (FUJITSU LTD), 2 mai 1986 * abrégé *	13
A	GB 2 211 991 A (ATOMIC ENERGY AUTHORITY UK) 12 juillet 1989 * page 1, ligne 4 - page 2, ligne 13 * * page 3, ligne 1 - ligne 31; figure 1 *	1-4,6,8, 10
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.CL.6)
Date d'achèvement de la recherche		Examineur
30 octobre 1998		Klopfenstein, P
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons &amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>		

1  
EPO FORM 1503 03.92 (P4/C13)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**